

**- EFFET DE PEAU -**

**PENETRATION D'UN CHAMP**

**ELECTROMAGNETIQUE ALTERNATIF**

**DANS UN ORGANISME VIVANT**

<b>1 -</b>	<b>L'EFFET DE PEAU.....</b>	<b>1</b>
1.1 -	Présentation.....	1
1.2 -	Conductivité du corps humain.....	2
1.3 -	Evolution de la conductivité en fréquence .....	2
1.4 -	Formule théorique de l'effet de peau.....	2
1.5 -	Effet de peau et organisme humain .....	2
1.6 -	Exemples de profondeur de pénétration des champs EM dans l'organisme vivant.....	3
	1.6.1 - <i>Le liquide cérébro-spinal et le coeur</i> .....	3
	1.6.2 - <i>Evolution de l'épaisseur de peau vers les hautes fréquences</i> .....	3
<b>2 -</b>	<b>CONCLUSION - RESTRICTION.....</b>	<b>3</b>

**1 - L'EFFET DE PEAU**

1.1 - Présentation

L'effet de peau est un phénomène d'origine électromagnétique qui existe pour tous les conducteurs parcourus par des courants alternatifs.

Il modifie la circulation de charges électriques dans un milieu conducteur en repoussant les électrons vers la périphérie de celui-ci d'autant plus que la fréquence du courant, ou du champ électromagnétique qui l'induit, augmente. Il dépend de la conductivité du milieu conducteur.

Le terme « peau » est ici l'appellation donnée à la couche superficielle de tout milieu conducteur dans lequel circule un courant alternatif. Ce milieu conducteur peut être organique, métallique, liquide, de toute nature.

## 1.2 - Conductivité du corps humain

Le corps humain est un milieu conducteur d'électricité de mauvaise qualité et presque toujours anisotrope. Toutefois, la conductivité et la permittivité relative de chaque tissu biologique du corps humain a été précisée sur un large spectre de fréquence. Ce sont les travaux de **C. Gabriel**, S. Gabriel et E. Corthout dans « The dielectric properties of biological tissues : I.Literature survey ». Phys. Med. Biol, 41(11) : 2231–2249, 1996.

## 1.3 - Evolution de la conductivité en fréquence

L'évolution de la conductivité et la permittivité relative des organes en fréquence se divise en quatre grandes zones. L'une d'elle correspond à celle des champs magnétiques rayonnés par des dispositifs CPL auxquels nous nous intéressons, entre 1 kHz et 1MHz.

A chaque fréquence, la conductivité complexe  $\sigma_C$  s'exprime avec la conductivité et la permittivité mesurées

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma^2 + (2 * \pi * f * \epsilon_0 * \epsilon_r)^2} \text{ (S)siemens}$$

## 1.4 - Formule théorique de l'effet de « peau »

La formule de l'épaisseur de « peau » qui exprime en mètres la profondeur où vont se concentrer les électrons d'un courant traversant un milieu conducteur est donnée dans un cours du professeur de l'ENSHEEIT du Pr.COULON. Ce courant peut être aussi être induit par un champ magnétique alternatif :

$$\Delta(m) = \sqrt{\frac{\rho}{\pi * \mu_0 * \mu_r * f}}$$

La conductivité complexe  $\sigma_C$  est l'inverse de la résistivité  $\rho$ , ainsi :

$$\Delta(m) = \sqrt{\frac{1}{\sigma_C * \pi * \mu_0 * \mu_r * f}} \text{ ou } \Delta(m) = \sqrt{\frac{1}{\pi * \mu_0 * \mu_r * f} * \frac{1}{\sqrt{\sigma^2 + (2 * \pi * f * \epsilon_0 * \epsilon_r)^2}}}$$

Avec :

$$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7} = 1,25664E - 06$$
$$\epsilon_0 = \frac{1}{36 * 10^9 * \pi} = 8,84194E - 12$$

## 1.5 - Effet de « peau » et organisme humain

La perméabilité magnétique relative  $\mu_r$  de tous les organes humains vaut **1**, et leurs conductivités est plus d'un million de fois plus faible que celle des métaux.

Ainsi, avec une résistivité (valeur inverse de la conductivité) de 17,5 nano  $\Omega.m$ , aucun courant ne circule en profondeur dans un volume de cuivre dès que la fréquence du courant alternatif augmente.

A **90 KHz**, fréquence maximale du CPL **Linky**, la formule dessus calcule l'épaisseur de la couche superficielle dans un fil de cuivre, peu importe son diamètre, dans laquelle un courant CPL restera concentré.

Cette couche est très faible. Elle est **de 0,12 millimètres**.

En revanche, comme la conductivité complexe des organes vitaux humains est de l'ordre de **1 S**, (et donc résistivité  $\rho = 1/\sigma = 1 \Omega.m$ ), et qu'elle varie d'un facteur 100 environ selon les organes et la fréquence, l'effet de « peau » est beaucoup plus faible, ce qui signifie que le courant alternatif circule dans l'intégralité de l'organe, pas seulement dans les couches superficielles, ceci jusqu'à des fréquences élevées.

## 1.6 - Exemples de profondeur de pénétration des champs EM dans l'organisme vivant

### 1.6.1 - Le liquide cérébro-spinal et le cœur

A **90 kHz**, les paramètres électriques du liquide cérébro-spinal et du cœur donnés par les travaux cités sont de :

Liquide cérébro-spinal :	$\begin{array}{l} \sigma_r = 2 \\ \varepsilon_r = 110 \\ \text{donc } \sigma_C = 2 (S) \end{array}$	cœur :	$\begin{array}{l} \sigma_r = 0.11 \\ \varepsilon_r = 3,5 * 10^5 \\ \text{donc } \sigma_C = 1,75 (S) \end{array}$
--------------------------	---	--------	--

$$\Delta_{(90kHz)} = \sqrt{\frac{1}{\sigma_C * \pi * \mu_0 * 90000}}$$

A **90 kHz**, fréquence maximale des champs magnétiques rayonnés par le **système Linky**, l'épaisseur de « peau » dans le liquide cérébro-spinal à est de **67 centimètres**, et pour le cœur, **71 centimètres !**

Autant dire que tous les organes du corps reçoivent sans atténuation aucune le champ magnétique présent à ces fréquences, qui induira à son tour dans ceux-ci un courant d'électrocution à son image.

### 1.6.2 - Evolution de l'épaisseur de peau vers les hautes fréquences

A **10 MHz**, l'épaisseur de « peau » dans ces deux organes descend à **6,4 centimètres** pour le liquide cérébro-spinal, et **12,5 centimètres** pour le cœur. Même à 10 MHz, la pénétration du champ électromagnétique dans le corps reste encore du même ordre de grandeur que la dimension des organes.

A **100 MHz**, les paramètres de la table de C.Gabriel & al. sont interpolés. Néanmoins, on constate à cette fréquence que l'effet de peau se confirme, puisque la couche dans laquelle se concentre le courant électrique descend à **20 millimètres** pour le liquide cérébro-spinal, et **22 millimètres** pour le cœur. La pénétration du champ électromagnétique est ici freinée, elle atteint préférentiellement les organes en surface.

Enfin, à **1 GHz**, toujours en utilisant les caractéristiques des organes données par les travaux de C.Gabriel & al., L'épaisseur de peau atteint **4,2 millimètres** pour le liquide cérébro-spinal, et **4,8 millimètres** pour le cœur.

## 2 - CONCLUSION - RESTRICTION

Le calcul de l'effet de « peau » à une fréquence fixée est une formule physique qui s'applique à un **milieu physique inerte et isotrope** dont les paramètres électriques sont définis à cette fréquence.

Or, la biologie du vivant ne rentre pas du tout dans cette catégorie. **Chaque organe est une juxtaposition incroyablement complexe de cellules très différentes les unes des autres, en interaction rapprochée et minutieusement réglée.** Tout biologiste sait pertinemment qu'un petit déplacement de charges ioniques en son sein perturbe rapidement cette symbiose.

A toutes fréquences, nous devons bien garder en mémoire que de nombreux phénomènes biologiques de pénétration tissulaire surviennent dès l'apparition de petits courants électrocuteurs :

- déplacements ioniques forcés intra et extra cellulaires,
- micro réactions chimiques,
- modification du pH cellulaire,
- renforcements ou évitements locaux de déplacement ionique par micro variations de conductivité
- perturbation de la chaîne de l'ADN au niveau atomique,
- résonances de structures organiques complexes,
- résonances de molécules chimiques,
- etc ...

Seuls, des biologistes confirmés peuvent approfondir ces phénomènes et définir le champ électromagnétique maximal admissible pour un organisme humain.

In fine, ce calcul donne un ordre de grandeur de la profondeur de pénétration moyenne d'un champ électromagnétique alternatif dans un corps humain qui y serait soumis.